

Aus der ophthalmologischen Klinik und Poliklinik der Universität Basel

Vorsteher: Prof. Dr. F. Rintelen

Die Fusion höhendistanter und gedrehter Doppelbilder

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Lina Berger

von Subingen (Solkothurn)

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg

1954



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der ophthalmologischen Klinik und Poliklinik der Universität Basel

Vorsteher: Prof. Dr. F. Rintelen

Die Fusion
höhendistanter und gedrehter Doppelbilder

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Lina Berger

von Subingen (Solothurn)

Von der Medizinischen Fakultät genehmigt

auf Antrag

von Prof. Dr. F. Rintelen

Tag der Promotion : 5. Juli 1952



Sonderdruck aus „Albrecht v. Graefes Archiv für Ophthalmologie“,
154. Band, 4. Heft, 1953, Seite 389—400

Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg

*Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet*

Herrn Prof. Dr. F. Rintelen

danke ich herzlich für seine bereitwillige, verständnisvolle Hilfe
bei der Durchführung dieser Arbeit

Aus der Ophthalmologischen Klinik und Poliklinik der Universität Basel
(Vorsteher: Prof. Dr. F. RINTELEN).

Die Fusion höhendistanter und gedrehter Doppelbilder.

Von

LINA BERGER.

Mit 5 Textabbildungen.

Einleitung.

Als Fusion kann man das dem Willen in der Regel entzogene Streben bezeichnen, durch entsprechende motorische Einstellung der beiden Augen eine Abbildung des fixierten Objektes möglichst auf identischen Netzhautstellen und damit binoculares Einfachsehen zu erzielen.

Das Entstehen nicht korrespondierender, disparater Netzhautbilder eines Außenobjektes, dem unsere visuelle Aufmerksamkeit gilt, und das wir anblicken, veranlaßt Fusionsbewegungen der beiden Augen, die eine korrespondierende Lage der beiden Einzelbilder anstreben.

Der sensorische binoculare Verknüpfungsprozeß, als den man die Fusion auch umschreiben könnte, ist offenbar das Produkt zweier verschiedener physiologischer Vorgänge.

Er besteht:

1. aus einem muskulären Geschehen, das durch ein wohl meist unbewußtes, streng koordiniertes In-Funktion-Treten verschiedener Muskelgruppen des rechten und linken Auges charakterisiert ist, und
2. aus einem sensorischen Geschehen, das in der Möglichkeit besteht, auch mit nicht identischen (= disparaten) Netzhautstellen binocular einfach zu sehen.

Dieses letztere Phänomen, von PANUM zuerst beschrieben, wird als Panum-Sehen bezeichnet. Aus dem Vorkommen dieses Mechanismus läßt sich wohl die Tatsache erklären, daß in manchen Fällen von unbehandeltem Strabismus sich mit der Zeit eine falsche Korrespondenz der beiden Netzhäute entwickelt; mit Hilfe des sensorischen Mechanismus werden disparate Netzhautstellen miteinander funktionell verbunden, gelegentlich so fest, daß Netzhautbilder, die auf eigentlich korrespondierenden Stellen abgebildet werden, doppelt empfunden werden. Das Binocularsehen in falscher Korrespondenz ist insofern mangelhaft, als ihm die Qualität der Stereopsis abgeht.

Während für die Fusion in horizontaler Richtung im Sinne der Konvergenz und Divergenz der monoculare Mechanismus von entscheidender Bedeutung ist, kann bei der Fusion höhendistanter oder gedrehter „Halbbilder“ recht genau ein muskulärer und ein sensorischer Anteil

des Fusionsmechanismus differenziert werden (unter Halbbildern versteht man, wie wir später bei Erörterung der Methodik noch genauer beschreiben werden, zwei kongruente Figuren, die, jedem Einzelauge dargeboten, durch Abbildung auf identischen Netzhautstellen als Einzelfiguren erscheinen).

Die Fusion höhendistanter Bilder kommt normalerweise etwa dann vor, wenn eine Brille vertikal dezentriert getragen wird; eine vertikal-divergente Fusionsbewegung gleicht dann die Fehllage der Bilder aus, wobei allerdings häufig ein sehr unangenehmer ophthalmogener Kopfschmerz entstehen kann.

Unsere Kenntnis der Vorgänge, die der Fusion zugrunde liegen, ist noch recht mangelhaft. Ihre Erforschung ist deshalb so schwierig, weil es sich hier nicht um rein autonome Prozesse handelt, die ohne unser Bewußtsein und Dazutun ablaufen, die aber andererseits auch nicht rein psychische Vorgänge darstellen. Die Fusion nimmt in dieser Hinsicht eine Mittelstellung ein: die Disparation des Bildes, das unsere Aufmerksamkeit erregt, auf den beiden Retinae löst, bewußt werdend, die entsprechende Fusionsbewegung aus. Ablauf und Dosierung dieser Aktion erfolgen aber reflexartig autonom. Weil der Fusion nun aber subjektiv sensorische Phänomene zugrunde liegen, ist sie einer genauen objektiven, experimentellen Untersuchung nur schwer zugänglich. Wir treiben, wenn wir uns mit den Gesetzmäßigkeiten des Fusionsvorganges zu befassen versuchen, einen „exakten Subjektivismus“.

Je besser wir die Physiologie des Fusionsmechanismus kennen, desto mehr Verständnis werden wir den komplexen und zum Teil noch wenig abgeklärten sensorischen Erscheinungen, die mit dem konkomitierenden Schielen verbunden sind, entgegenbringen, desto besser werden wir Ursachen und Folgen dieser im kindlichen Alter so häufigen Stellungsbeziehung der beiden Augen verstehen.

Die vorliegende Arbeit hat aus dem Komplex dieser Probleme eine kleine Teilfrage herausgegriffen, die Frage nach dem Fusionsmechanismus höhendistanter und „verrollter“ Halbbilder. Es sollte geprüft werden, wie sich hier der Fusionsmechanismus abspielt, ob der muskuläre oder der sensorische Anteil des Vorganges von entscheidender Bedeutung ist; gleichzeitig interessierte uns die Frage, ob und in welchem Umfang die Fusionsbreite in solchen Fällen durch Übung vergrößert werden kann.

Literatur.

Das Problem der Fusion ist schon im letzten Jahrhundert verschiedentlich bearbeitet worden.

Ungleiche Höheneinstellung beider Augen im Interesse des binokularen Einfachsehens wurde zuerst von DONDER, GRAEFE und HELMHOLTZ beobachtet beim Vorsetzen schwacher vertikal ablenkender Pris-

men vor das eine Auge. PANUM und NAGEL sahen dasselbe beim Höher- und Tieferschieben der einen Hälfte einer im Stereoskop betrachteten Doppelzeichnung. HERING betonte vor allem die Unterschiede zwischen den Fusionsbewegungen und den gewöhnlichen Augenbewegungen. Erstere erfolgen viel langsamer und in sehr engen Grenzen. Die Innervation der Fusionsbewegungen dauert noch einige Zeit nach Aufhören des Fusionszwanges an. — Außerdem beobachtete HERING eine gewisse Trainierbarkeit der Fusionsbreite. Vom gleichen Autor wurde die Bezeichnung „Vertikaldivergenz“ geprägt für die ungleiche Höheneinstellung beider Augen.

Eine ausführliche Arbeit über die Fusionsbewegungen erschien im Jahre 1900 von HOFMANN und BIELSCHOWSKY. Es wurden bei dieser Arbeit die Vertikaldivergenz, die wahren Rollungen um die Gesichtslinien sowie Konvergenz und Divergenz experimentell untersucht. Zu ihren Experimenten benützten die Autoren ein Haploskop. Zusammenfassend kamen sie zu folgenden Resultaten:

Vertikaldivergenz und gegensinnige Rollungen machen im wesentlichen analoge Erscheinungen. Sie lassen sich nicht willkürlich beschleunigen oder aufhalten noch einleiten. Das Eintreten der Fusionsbewegung erfolgt nur allmählich. Durch längere Übung kann man einen rascheren Verlauf der Fusionsbewegungen erzielen, aber kaum eine Steigerung des Maximums, das man bei einer ersten Versuchsreihe erhalten hat. Das Verschwinden der Fusionskontraktion erfolgt ebenfalls nur langsam, es bleibt verhältnismäßig lange ein Rest bestehen.

Das Ausmaß der Fusionsbewegung bleibt immer ein wenig hinter der wirklichen Verschiebung der Objekte zurück, um so mehr, je näher man dem Maximum kommt.

HOFMANN und BIELSCHOWSKY schließen aus diesen Ergebnissen, daß es sich bei den Fusionsbewegungen um tonische Innervationen handeln müsse, die während allen willkürlichen Augenbewegungen beibehalten werden als eine Anpassung an veränderte bzw. pathologische Augenstellungen. Die Kompensation dauert so lange als binoculares Sehen besteht. Die Augen haben unter dem Zwang des Binocularsehens eine neue Ausgangslage für ihre Bewegungen angenommen.

Auch HERZAU, in einer Arbeit über das Verhältnis von erzwungener Vertikaldivergenz und Rollung bei Fusion, kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Er findet, daß sich auf eine bis zum Maximum gesteigerte Vertikaldivergenz ohne Beeinträchtigung der einzelnen Werte noch eine Rollungsbewegung aufpropfen lasse, obwohl bei beiden Bewegungen die gleichen Muskelgruppen beansprucht werden.

TSCHERMAK bezeichnet die Fusionsbewegungen als Reflexe besonderer Art, insofern, als erst durch die Aufmerksamkeit das Netzhautbild

zum Reflexreiz wird, weshalb die meisten Fusionsbewegungen ohne Fixierobjekt überhaupt nicht durchführbar sind.

Methodik.

Die experimentellen Untersuchungen wurden an 35 Personen (fast ausschließlich Ärzte und Medizinstudenten) im Alter von 25—35 Jahren ausgeführt.

Die Methodik war folgende:

Die Versuchspersonen waren normalsichtig. Leichte Myopien wurden von der Versuchsreihe nicht ausgeschlossen und mit Brillenkorrektur geprüft. Astigmatische Personen wurden nicht in die Versuchsreihe aufgenommen.

Die Versuche wurden am BIELSCHOWSKYSchen *Universal-Prismenapparat* (Zeiß-Jena) vorgenommen. Er besteht im wesentlichen aus 2 Herschel-Prismen, die horizontal einfallende Strahlen in vertikaler Richtung, oder — um 90° gedreht — im Sinne von Konvergenz und Divergenz ablenken. Der Apparat war so eingestellt, daß mit dem einen Prisma Vertikaldivergenz erzeugt werden konnte, mit dem anderen die Halbbilder in horizontaler Richtung verschoben werden konnten.

Für die Verrollungsübung war das Halbbild rotierbar gemacht und mit einem Transporteur versehen, um das Ausmaß der Rotation der Halbbilder bestimmen zu können.

Die zu den Versuchen benützten Halbbilder bestanden aus kongruenten Kreisfiguren, die, auf korrespondierenden Netzhautpunkten abgebildet, zu einer einzigen Figur verschmolzen wurden. Erfahrungsgemäß konnten Kreisfiguren mit bestimmten Linien in ihrem Inneren besser und länger fusioniert werden als die leeren Kreise. Besonders konnte durch sie ein allmähliches Auseinandergleiten der beiden Einzelbilder an der Fusionsgrenze erreicht werden, während die leeren Kreise bei einem bestimmten Divergenzgrad plötzlich auseinanderzufallen pflegten und dann mit aller Anstrengung nicht mehr fusioniert werden konnten. Beim allmählichen Auseinandergleiten der Halbbilder bestand die Möglichkeit, die Kreise, die sich vielleicht um 1 cm nicht deckten, nach einiger Zeit zu fusionieren. Nur geringgradig distante Doppelbilder wirken als Fusionsreiz, bei zu großem Abstand der Doppelbilder voneinander ist der Fusionszwang nicht mehr wirksam. Mit Hilfe der ersteren konnten mit der Zeit immer stärker divergente Halbbilder zur Deckung gebracht werden.

Für die Höhendivergenzübung wurden Kreise mit vertikal gestellten Kreisbögen benützt. Für die Verrollungsübungen dienten Kreise mit zwei sich im Kreismittelpunkt kreuzenden Geraden. Bei den Fusionsübungen wurde in erster Linie die Gesamtfusion, d. h. der Wert ermittelt, um den die Halbbilder gegeneinander rotiert, bzw. in vertikaler Richtung verschoben werden konnten, um gerade noch als Sammelbild gesehen zu werden.

Würde die gesamte Fusion lediglich durch Stellungsänderung der Augen, d. h. durch den muskulären Mechanismus bewerkstelligt, so würden horizontale Striche, die auf jedem Halbbild angebracht sind auf gleicher Höhe, jedoch nicht verschmolzen werden können, da sie bei fusionierter Hauptfigur eine Verschiebung in horizontaler Richtung aufweisen, stets ihre relative Lage zueinander beibehalten. Beim Verschieben des linken Halbbildes z. B. um 10° nach oben würde bei der Vertikaldivergenzübung das linke Auge sich um 5° heben. Dann trifft das linke Halbbild die Netzhaut an einer Stelle unterhalb des Äquators, die noch einer Höhenabweichung von 5° entspricht. Durch Senken des rechten Auges um 5° wird nun auch das nicht verschobene rechte Halbbild unterhalb des Äquators des rechten Auges abgebildet. Die Netzhautbilder entstehen also wieder an korrespondierenden Stellen, werden demnach zu einem Sammelbild verschmolzen.

Genau so müßte es sich mit den oben erwähnten nicht verschmelzbaren horizontalen Marken auf jedem Halbbild verhalten. Dies trifft aber nicht zu. Schon HOFMANN und BIELSCHOWSKY haben bei ihren Untersuchungen gefunden, daß sich solche Marken bei den Übungen regelmäßig gegeneinander verschoben, was nur darauf zurückzuführen ist, daß die Hauptfiguren nicht auf korrespondierenden Netzhautstellen abgebildet worden sind. Damit ist der Beweis erbracht, daß die Fusion einen rein muskulären Mechanismus darstellt.

Die sensorische Komponente der Fusion, beruhend auf zentraler Verschmelzung disparater Netzhautbilder, wird auch *Disparation* genannt.

Damit der Grad der Disparation metrisch erfaßt werden konnte, wurde anstatt zweier einfacher horizontaler Striche auf dem einen Halbbild eine Skala mit Winkelgraden angebracht, auf dem anderen Halbbild ein horizontaler Strich, der

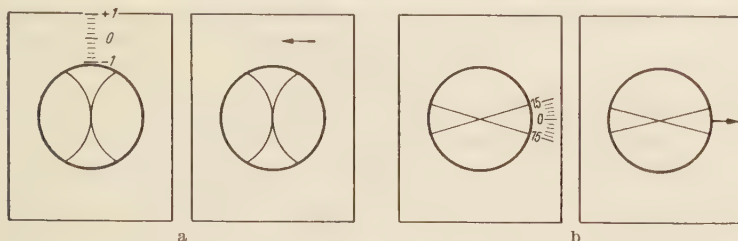


Abb. 1a u. b. a Die zur Vertikaldivergenz benützten Halbbilder. b Die zur Verrollungsübung benützten Halbbilder.

bei Abbildung der Halbbilder auf korrespondierenden Netzhautstellen auf den Nullpunkt der Skala zeigte.

Die Gradeinteilung dieser Skala war bei der Höhendivergenz auf einen Kreis von 333 mm Radius bezogen (— Abstand der Halbbilder vom Auge). Die Skala war über dem Hauptbild angebracht. Die Werte konnten auf 10' genau abgelesen werden.

Bei der Verrollung war die Skala rechts von der Hauptfigur angebracht. Ihre Gradeinteilung war auf das Zentrum der Hauptfigur bezogen. Die Werte wurden auf 1° genau abgelesen.

Der Abstand der Halbbilder vom Auge betrug 333 mm, ihr gegenseitiger Abstand von einem Bildzentrum zum anderen 65 mm.

Die Versuchsperson stellte jeweils am Anfang der Übungen die für sie geeignete Konvergenzstellung der Halbbilder selber ein, weil mehr Wert auf möglichst physiologische Versuchsbedingungen gelegt wurde als auf exakte Primärstellung der Augen als Ausgangslage. Da bei einer Gegenstandsweite von 333 mm das Auge normalerweise akkommodiert, mußte ihm auch eine Konvergenzstellung zugebilligt werden. Im Mittel betrug sie 12°.

Ein ganzer Versuch bestand aus 4 Einzelübungen, die je 20 min dauerten und möglichst an 4 verschiedenen Tagen durchgeführt wurden, damit sie sich gegenseitig nicht beeinflussen konnten durch Divergenz- oder Verrollungsreste. Es waren 2 Verrollungsübungen — Innenrotation und Außenrotation — und 2 Vertikaldivergenzübungen in einander entgegengesetzten Richtungen. Die Versuche wurden kurvenmäßig dargestellt, indem man alle 5 min den Fortschritt der Fusionsleistung ablas und in ein Koordinatensystem eintrug. Der Anfangswert wurde ermittelt, indem die Halbbilder in mäßigem Tempo soweit gegeneinander verschoben wurden, bis gerade ein Doppelbild bemerkbar wurde. Abgelesen wurde derjenige Wert, bei dem gerade noch ein einfaches Bild gesehen werden konnte.

Die Versuchsperson las jedesmal auch den Disparationswert auf der Skala ab, der ebenfalls in die Kurve eingetragen wurde.

Eine Trainingszeit von 20 min erwies sich als zweckmäßig, weil innerhalb dieser Zeitspanne kaum Ermüdungserscheinungen auftraten, andererseits diese Zeitdauer doch einigermaßen dem Begriff eines Trainings entsprach. Wo doch Ermüdungserscheinungen auftraten, war dies gewöhnlich schon nach den ersten 5 min der Fall, so daß auch eine kürzere Trainingsdauer sie nicht hätte verhindern können.

Durch die Übungen konnten im wesentlichen 3 Werte ermittelt werden:

1. Die untrainierte Fusionsbreite (dargestellt durch den Anfangswert der Kurve).
2. die Fusionsbreite nach einem Training von 20 min,
3. das Verhältnis des muskulären zum sensorischen Anteil der Gesamtfusion.

Befunde.

1. Allgemeines.

Bei den meisten der untersuchten Personen konnte durch das Training von 20 min eine Zunahme der Fusionsbreite beobachtet werden, und zwar in 29 von 33 Fällen bei der Höhendivergenz und in 23 von 33 Fällen bei der Verrollung. Die übrigen blieben entweder auf dem Anfangswert stehen oder wiesen sogar eine fallende Kurve auf. Es wurden im allgemeinen ziemlich verschiedene Endwerte erreicht. Vor allem konnte keine Gesetzmäßigkeit festgestellt werden zwischen der Fusionsbreite der Höhendivergenz und der Verrollung bei den einzelnen Individuen, wie dies theoretisch eigentlich der Fall sein sollte, da ja für beide Bewegungen die gleichen Muskelgruppen benützt werden. Auch wenn man nur die muskulären Komponenten der beiden Bewegungen miteinander vergleicht, kann man keine Übereinstimmung finden. So kann ein Explorand mit einer respektablen vertikaldivergenten Fusionsbreite eine ganz bescheidene Verrollungsbreite aufweisen, ein anderer mit der gleichen Vertikaldivergenz eine ebenso ansehnliche Verrollungsbreite erreichen.

Von großer Bedeutung für die Fusionsbreite ist die Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit des Untersuchten. Ein weißes Blatt Papier oder ein sich bewegender Mensch, selbst nur mit der Peripherie der Retina wahrgenommen, konnte die Aufmerksamkeit so ablenken, daß die bei guter Konzentration fusionierten Halbbilder wieder doppelt erschienen.

Das von etlichen Autoren beschriebene Phänomen, daß an der Fusionsgrenze die Figuren stereoskopisch und mit farbigen Rändern umgeben gesehen wurden, konnten wir bei dieser Gelegenheit bestätigen.

Subjektiv wurden von den meisten Versuchspersonen die Verrollungsübungen als anstrengender empfunden. Es kostete viel mehr Mühe, die einmal fusionierten Halbbilder bei der Rotation in dieser Stellung zu behalten, als dies bei der Höhendivergenz der Fall war, wo die Fusion auch in Extremlagen mit der Zeit immer leichter vonstatten ging.

2. Heterophorien.

Die Zahl der latenten Heterophorien war groß. Von 33 Versuchspersonen wiesen 10 (= 30,30%) eine Höhenabweichung auf, 11 (= 33,33%) eine latente Cyclophorie.

Eine Person mit einer Cyclophorie, z. B. von 5° Innenrotation sieht bei richtiger Korrespondenz der Netzhäute die beiden geradgestellten Halbbilder um 5° nach außen rotiert. Im Interesse binocularen Einfachsehens müssen die Bulbi eine Außenrotation ausführen. Dann steht die Marke des einen Halbbildes wieder auf dem Nullpunkt des anderen. Bei der, wie wir später noch sehen werden, sehr großen sensorischen Komponente der Rotationsbewegungen können auch die Bulbi nach innen rotiert bleiben, die Fusion der Halbbilder also ausschließlich durch Verschmelzung disparat gereizter Netzhautbilder bewerkstelligt werden. Dann werden die Marken gegeneinander verschoben gesehen. Das Hauptbild ist fusioniert, nur die nicht fusionierbaren Marken zeigen eine Rotation an. Es kann also vorkommen, daß bei einer nicht muskulär kompensierten Innenrotationsstellung der Bulbi bei der Übung nach derselben Richtung der Disparationswert größer ist als die effektive Rotation der Halbbilder.

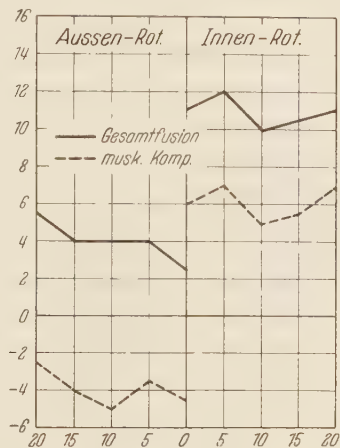


Abb. 2. Beispiel einer Innenencyclophorie.

Eine entsprechende Kurve ist unten ersichtlich: die rein muskuläre Kurve verläuft unterhalb der Nulllinie bei der Außenrotation, d. h. sie weist negative Werte auf. Es hat also in Wirklichkeit gar keine Außenrotation stattgefunden, sondern der Bulbus ist bei beiden Verrollungsübungen nach innen rotiert gewesen.

3. Höhendivergenz- und Verrollungsrest.

Nach HOFMANN und BIELSCHOWSKY liegen den Fusionsbewegungen tonische Innervationen zugrunde. Demzufolge bleiben sie auch längere Zeit bestehen. Sie dauern auch noch an, wenn der Fusionszwang aufgehört hat. Dies zeigt sich in der Tatsache, daß Doppelbilder auftreten, wenn man nach einer Übung die Halbbilder rasch in die Ausgangslage zurückbringt, die erst allmählich wieder verschwinden.

Bei der Höhendivergenz trat dies ganz besonders deutlich zutage. Ein Divergenzrest konnte oft nach mehreren Tagen noch festgestellt werden, so daß sogar die Übung in entgegengesetzter Richtung beeinträchtigt wurde. In einem Falle lag sogar ein Intervall von 6 Tagen

zwischen den beiden Höhendivergenzübungen, so daß man die Frage aufwerfen könnte, ob nicht durch die erste Übung eine kompensierte Höhenabweichung dekompenziert und manifest wurde. Bei den meisten Personen war der Divergenzrest am folgenden Tag nur noch aus der Abweichung vom Nullpunkt der nicht fusionierbaren Skala ersichtlich, wobei das Hauptbild fusioniert war. Bei den Verrollungsübungen konnte ein Verrollungsrest nur in vereinzelt Fällen festgestellt werden, und dann nur für ganz kurze Zeit. Daß er störend auf die entgegengesetzte Übung wirkte, konnte nie beobachtet werden.

4. Muskuläre und sensorische Komponente der Fusionsbreite.

Während bei der Höhendivergenz der größte Teil der Fusionsleistung auf echter Stellungsänderung der Bulbi beruht, also muskulär bewerkstelligt wird, kommt bei den Verrollungsübungen ein wesentlicher Teil der Gesamtfusion durch Verschmelzung disparat gereizter Netzhautstellen zustande. Aus dieser Tatsache läßt sich wohl auch der große Divergenzrest bei der Höhendivergenz und das fast vollständige Fehlen eines Verrollungsrestes erklären.

Das Verhältnis der muskulären zur sensorischen Komponente beträgt bei der Höhendivergenz im Durchschnitt 5:1, bei der Verrollung 1:4,8.

Auf was beruht nun aber dieses fast reziproke Verhältnis der beiden Komponenten zwischen der Verrollung und Höhendivergenz?

Zu einem erstaunlichen Ergebnis kommt man, wenn man berechnet, welchen Strecken auf der Retina die beiden sensorischen Werte der Verrollung und der Höhendivergenz entsprechen. Zu diesem Zwecke wurde aus den 33 Kurven eine Durchschnittskurve angefertigt und daraus die maximalen sensorischen Werte zur Berechnung dieser Strecken verwendet. Der maximale Wert für die Verrollung war $9,74^\circ$, für die Höhendivergenz 34 min. Als hintere Brennweite wurde ein Wert von 21,233 mm angenommen. Es ist dies ein Zwischenwert von maximaler Akkommodation und Akkommodationsruhe nach LISTING, berechnet auf 3 Dioptrien Akkommodation.

Berechnung des sensorischen Anteils auf der Retina bei *Höhen-divergenz*:

$\alpha = 34'$. Im gleichschenkligen Dreieck ist $a = b \times \operatorname{tg} \alpha$,

$b = \text{hintere Brennweite} = 21,233 \text{ mm}$,

$a = 21,233 \times \operatorname{tg} 34' = 209,91 \mu$.

Berechnung des sensorischen Anteils auf der Retina bei *Verrollung*:

Hier muß der Winkel α auf einem Umweg errechnet werden. Zuerst wird die Strecke berechnet, die ein Winkel von $9,74^\circ$ auf dem Umfang eines Kreises von 31 mm Durchmesser beschreibt. Sodann muß derjenige Winkel gefunden werden, der auf dem Umfang eines Kreises von 333 mm Radius dieser Strecke entspricht (333 mm = Bildabstand).

Damit hat man den Winkel α gefunden. Er beträgt $27' 37''$. Mit diesem Wert rechnet man in der gleichen Weise weiter wie bei der Höhendivergenz:

$$a = b \times \operatorname{tg} \alpha = 21,233 \times \operatorname{tg} 27' 37'' = 169,75 \mu.$$

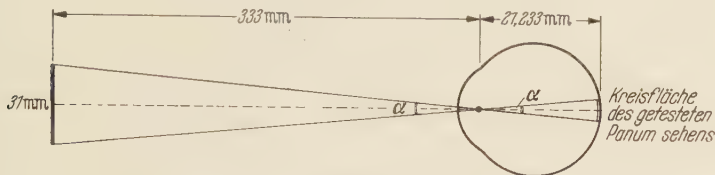


Abb. 3.

Diese beiden Werte:

209,91 μ für die Vertikaldivergenz und

169,75 μ für die Verrollung

bezeichnen mit anderen Worten das Panumsehen, das in einem Bereich einer Kreisfläche von 31 mm Durchmesser, in einem Abstand von

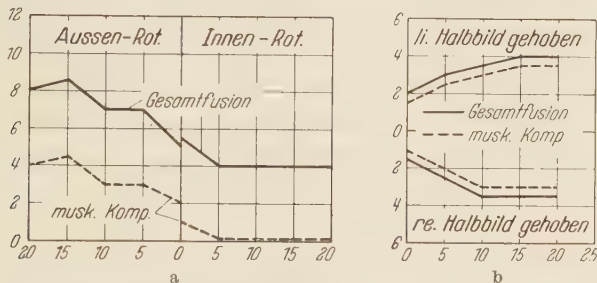


Abb. 4a u. b. a Verhältnis der sensorischen zur muskulären Komponente bei Verrollung. b Verhältnis der sensorischen Komponente zur muskulären Komponente bei Höhendivergenz.

333 mm betrachtet, bzw. deren Abbild auf der Retina noch binoculares Einfachsehen mit disparaten Netzhautpunkten ermöglicht, die maximal obige Abstände voneinander aufweisen.

Die geringe muskuläre Komponente bei der Verrollung beruht also nur darauf, daß für relativ hohe Verrollungsgrade das Panumsehen allein ausreicht.

Das Panumsehen weist individuelle Schwankungen auf, jedoch bleibt es beim einzelnen Individuum während allen Übungen ziemlich konstant, d. h. die muskuläre Kurve und die Gesamtfusionskurve verlaufen annähernd parallel.

5. Die Durchschnittskurven.

Das arithmetische Mittel von allen Einzelkurven ergab Durchschnittskurven für alle Bewegungsrichtungen. Diese Kurven sind sehr aufschlußreich.

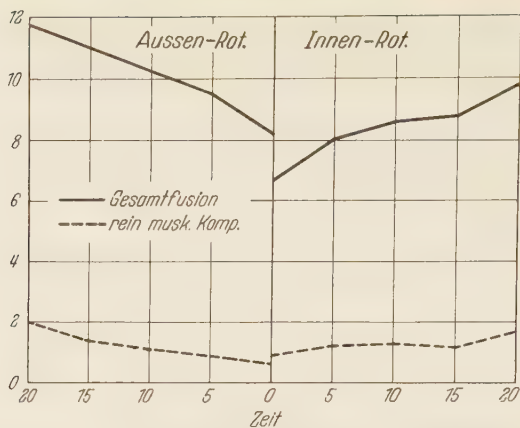


Abb. 5a. Durchschnittskurve aus allen Verrollungskurven.
Genaue Werte.

Außenrotation			Innenrotation		
Gesamtfusion	Sensorisch	Muskulär	Gesamtfusion	Sensorisch	Muskulär
8,18°	7,59°	0,59°	6,71°	5,77°	0,94°
9,54°	8,63°	0,91°	8,04°	6,85°	1,19°
10,24°	9,16°	1,08°	8,62°	7,36°	1,26°
10,97°	9,60°	1,37°	8,79°	7,58°	1,21°
11,76°	9,74°	2,02°	9,80°	8,09°	1,71°

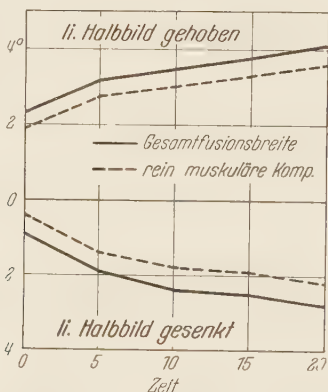


Abb. 5b. Durchschnittskurve aus allen Höhendivergenzkurven.
Genaue Werte.

Linkes Halbbild gehoben		Linkes Halbbild gesenkt	
Gesamtfusion	Sensorische Komponente	Gesamtfusion	Sensorische Komponente
2° 18'	25'	0° 54'	29'
3° 12'	28'	1° 54'	33'
3° 30'	30'	2° 24'	34'
3° 48'	29'	2° 30'	33'
4° 06'	32'	2° 48'	34'

Sie zeigen, daß bei allen 4 Übungen in den ersten 5 min der größte Zuwachs an Fusionsbreite erfolgt. In den weiteren 15 min steigt die Kurve nur noch ganz flach an.

Bei den Höhenddivergenzkurven ist auffällig, daß die Übung, bei der das linke Halbbild gehoben wurde (in der graphischen Darstellung die Kurve oberhalb der Nullinie) auch in der Durchschnittskurve eine höhere Fusionsbreite erreicht als die Übung in entgegengesetzter Richtung. Da die Fusionsbewegungen in vertikaler Richtung im täglichen Leben weder nach der einen Seite noch nach der anderen physiologischerweise gebraucht wird, kann man auch den Unterschied in der Fusionsbreite nicht damit erklären, daß die eine Bewegungsrichtung häufiger benutzt wird als die andere, wie dies bei der gegensinnigen Rollung der Fall ist. Die Ursache der größeren Fusionsbreite in der einen Richtung muß vielmehr in der Versuchsanordnung gesucht werden. Damit Irrtümer in der Bewegungsrichtung vermieden werden konnten, wurde systematisch der Versuch mit der Übung begonnen, wo das linke Halbbild gehoben wurde. Da aber, wie oben schon erwähnt wurde, bei der Höhenddivergenz noch während längerer Zeit ein Divergenzrest bestehen bleibt, hat sich dieser in störender Weise bei der Übung in entgegengesetzter Richtung geltend gemacht. Bei 14 Personen war noch nach 2—6 Tagen ein Höhenddivergenzrest von $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}^{\circ}$ nachweisbar. Dazu kommen 7 Fälle mit einer primären Heterophorie mit Höherstellung des linken Bulbus, wo also von vorneherein eine verminderte Fusionsbreite bei Senkung des linken Halbbildes zu erwarten ist.

Total zeigen also 21 Personen eine verminderte Fusionsbreite bei Senkung des linken Halbbildes, was natürlich auf der Sammelkurve zum Ausdruck kommt.

Bei den Verrollungskurven fällt eine größere Fusionsbreite bei Außenrotation auf, was zu erwarten war, da diese im Gegensatz zur Innenrotation ein physiologischer Mechanismus ist, der bei jeder Konvergenz und Blicksenkung einsetzt, um die dem LISTINGSchen Gesetz entsprechende Innenrotation auszugleichen.

Auffällig ist auch bei den Durchschnittskurven die große sensorische Komponente im Verhältnis zum muskulären Anteil bei den Verrollungsübungen. Dabei läuft die muskuläre Kurve der Gesamtfusionskurve annähernd parallel, so daß ihr Zwischenraum, der die sensorische Komponente darstellt, sich gleichbleibt. Nur gegen Ende der Übung nimmt die letztere geringgradig zu. Der Zuwachs an Fusionsbreite beruht also auf einem echten Muskeltraining sowohl bei der Höhenddivergenz wie bei der Verrollung.

Zusammenfassung.

Ziel der Arbeit war in erster Linie eine weitere Erforschung des Fusionsmechanismus bei höhendivergenten und gegensinnig verrollten Doppelbildern. Es sollte vor allem festgestellt werden, ob der muskuläre oder der sensorische Anteil für die Fusion in diesen beiden Sonderfällen von ausschlaggebender Bedeutung ist und ob gesetzmäßige Beziehungen zwischen Höhenddivergenz und Verrollung nachweisbar sind. Die Unter-

suchungsergebnisse zeigen, daß solche festen Beziehungen zwischen der Höhendivergenz und der Verrollung hinsichtlich der Gesamtfusion nicht erkennbar sind. Dagegen ist die Strecke auf der Netzhaut, die bei den Durchschnittskurven den beiden Maximalwerten der sensorischen Komponente der Fusion entspricht, angenähert gleich groß. Der PANUMSche Empfindungskreis hat also bei beiden Augenbewegungen, der vertikalen wie der Rollung, fast gleiche Größe. Bei den gegensinnigen Rollungen besteht der Hauptteil der gesamten Fusion aus einem sensorischen Mechanismus, während andererseits bei der Höhendivergenz fast die gesamte Fusionsbreite durch einen muskulären Mechanismus bedingt ist. Deswegen dürfte auch der Divergenzrest, der als Residuum einer tonischen Fusionsbewegungskontraktur aufgefaßt werden kann, bei der Höhendivergenz viel ausgesprochenener sein als bei der Verrollung.

Überraschend groß ist die Zahl der bei nicht schielenden, emmetropen Individuen festgestellten latenten Hyperphorien und Cyclophorien: bei etwa 30 % der Untersuchten konnten solche abnormen Ruhelagen ermittelt werden.

Der Zuwachs an Fusionsbreite durch Fusionsübungen ist schon nach relativ kurzer Zeit erstaunlich groß; er kann sowohl bei der Rotation wie bei der Höhendivergenz innert 20 min um etwa 20° gesteigert werden. Der Zuwachs der Fusionsbreite beruht nicht auf einer Vergrößerung des sensorischen Anteils der Fusion, sondern auf einem vermehrten muskulären Ausgleichstonus. Nach längerem Training wären zweifellos noch größere Fusionsbreiten zu erwarten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind geeignet, die Zweckmäßigkeit orthoptischer Fusionsübungen auch in jenen Fällen von konkomitierendem Schielen zu erweisen, wo neben der Seitenabweichung Höhendivergenzen und Verrollungen bestehen. Die recht große vertikale und Verrollungs-Fusionsbreite macht auch verständlich, warum die nach Schieloperation häufig unphysiologische Reinsertion des tenotomierten Muskels — in einer Ansatzlinie, die zweifellos Höhendivergenzen und Verrollungen erzeugen kann — in der Regel durch Fusionsvorgänge ausgeglichen wird.

Literatur.

- AMES, A.: Amer. J. Physiol. Opt. **7**, 3 (1926). — BIELSCHOWSKY, A.: ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, H. 5, Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1925. — DONDERS, F. C.: Pflügers Arch. **13**, 373 (1876). — GRAEFE, A. v.: Graefes Arch. **37**, 243 (1891). — HELMHOLTZ, H.: Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. 3, S. 34. Hamburg u. Leipzig: Leopold Voß 1910. — HERZAU, W.: Graefes Arch. **122**, 59 (1929). — HOFMANN u. BIELSCHOWSKY: Pflügers Arch. **80**, 1 (1900). — NAGEL, A.: Graefes Arch. **17**, 237 (1871). — TSCHERMAK, ARMIN v.: ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, H. 10. Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1936—1940. — Einführung in die physiologische Optik. München: J. F. Bergmann; Berlin u. Wien: Springer 1942.

Dr. LINA BERGER, Eidg. Militärsanatorium, Davos-Platz (Schweiz).

